

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-164850

(43)Date of publication of application : 07.06.2002

(51)Int.Cl.

H04B 10/04  
G02F 1/01  
H04B 10/00  
H04B 10/06  
H04B 10/14  
H04B 10/26  
H04B 10/28

(21)Application number : 2001-275853

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 12.09.2001

(72)Inventor : OHIRA MICHISATO

(30)Priority

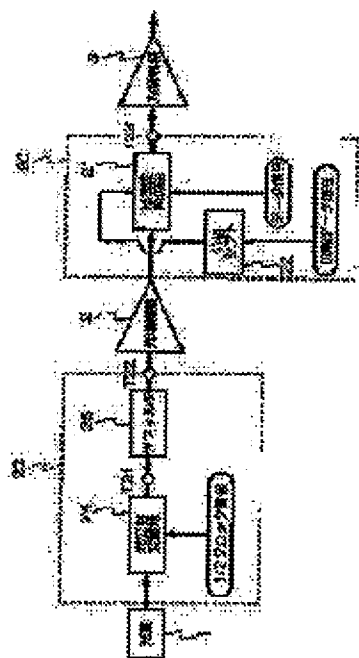
Priority number : 2000280558 Priority date : 14.09.2000 Priority country : JP

## (54) OPTICAL TRANSMITTER AND OPTICAL MODULATION METHOD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the nonlinear resistance of optical signal of an optical communication system.

**SOLUTION:** Related to an optical transmitter, CW light emitted from a light source 1 is phase modulated by an electric clock signal with a frequency which is a half of the bit rate frequency at an optical phase modulator 24. The phase-modulated light is so limited in pass band by an optical filter 25 so as to extract only a carrier wave and both of first sideband waves. The optical signal, after having passed the optical filter 25, is amplified by a first optical amplifier 2, and then data modulated by an optical intensity modulator 21. The data-modulated optical signal is amplified by a second optical amplifier 3, and then transmitted to a transmission path.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.09.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.08.2006

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3900874

[Date of registration] 12.01.2007

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2006-020521

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 14.09.2006

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-164850

(P2002-164850A)

(43) 公開日 平成14年6月7日 (2002.6.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ノート*(参考)
H 0 4 B 10/04		G 0 2 F 1/01	B 2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/01		H 0 4 B 9/00	Y 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/00			B
10/06			
10/14			

審査請求 有 請求項の数34 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

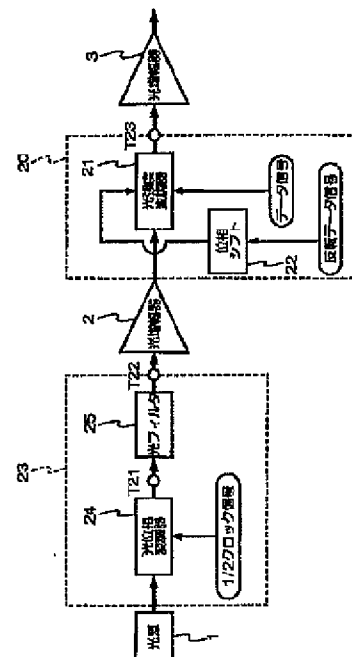
(21) 出願番号	特願2001-275853(P2001-275853)	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成13年9月12日 (2001.9.12)	(72) 発明者	大平 理覚 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内
(31) 優先権主張番号	特願2000-280558(P2000-280558)	(74) 代理人	100088812 弁理士 ▲柳▼川 信
(32) 優先日	平成12年9月14日 (2000.9.14)	Fターム(参考)	2H079 AA02 BA01 BA03 CA04 FA02 HA11 KA07 5K002 AA01 AA02 CA01 DA05 FA01
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 光送信器及び光変調方法

(57) 【要約】

【課題】 光通信システムにおける光信号の非線形耐力を改善する。

【解決手段】 光送信器において、光源1から出射されたCW光は、光位相変調器24において、ビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号により位相変調される。位相変調された光は、光フィルタ25により、搬送波および第1番目の両側帯波のみが抽出されるように通過帯域を制限される。光フィルタ25通過後の光信号は、第1の光増幅器2により増幅された後、光強度変調器21によりデータ変調される。データ変調後の光信号は第2の光増幅器3により増幅された後、伝送路へと送出される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源と、  
CW光源で発生された搬送波周波数の光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施すクロック変調部と、クロック変調部で位相変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部と、

または、CW光源で発生された搬送波周波数の光信号に前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部と、データ変調部でデータ変調された光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施すクロック変調部と、  
クロック変調およびデータ変調が施された後の光信号スペクトル帯域を前記データビットレート周波数の4倍以下に制限する光デバイスとを備えることを特徴とする光送信器。

【請求項2】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源と、  
データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いてCW光源から出射されたCW光に位相変調を施した後、搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出するクロック変調部と、  
クロック変調部でクロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部とを備えることを特徴とする光送信器。

【請求項3】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源と、  
データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いてCW光源から出射されたCW光に位相変調を施した後、搬送波と第1番目および第2番目の側帯波のみを抽出するクロック変調部と、  
クロック変調部でクロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部とを有することを特徴とする光送信器。

【請求項4】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源と、  
CW光源から出射されたCW光を2分岐した後、分岐された一方のCW光に、データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて1ビットスロット毎に位相が反転するように強度変調を施し、また、他方の分岐されたCW光の位相および利得を可変し、2つの該分岐光信号を合波するクロック変調部と、  
クロック変調部でクロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部とを有することを特徴とする

光送信器。

【請求項5】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源と、  
データビットレートの1/2周波数を有する電気クロック信号を用いてCW光源から出射されたCW光に1ビットスロット毎に位相が反転され、かつ、チャープが付与されるように強度変調を施し、搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出するクロック変調部と、  
クロック変調部でクロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行うデータ変調部とを有することを特徴とする光送信器。

【請求項6】 所定のデータビットレートにてデータ変調された光信号を送信する光送信器において、  
送信する光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施すクロック変調手段と、  
送信する光信号の光信号スペクトル帯域を前記データビットレート周波数の4倍以下に制限する光デバイスとを備えることを特徴とする光送信器。

【請求項7】 所定のデータビットレートにてデータ変調された光信号を送信する光送信器において、  
送信する光信号の搬送波周波数を有するCW (Continuous Wave) 光を2分岐した後、分岐された一方のCW光に、データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて1ビットスロット毎に位相が反転するように強度変調を施し、また、他方の分岐されたCW光の位相および利得を可変し、2つの該分岐光信号を合波するクロック変調手段を備えることを特徴とする光送信器。

【請求項8】 所定のデータビットレートにてデータ変調された光信号を送信する光送信器において、  
データビットレートの1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて送信する光信号の搬送波周波数を有するCW (Continuous Wave) 光に、1ビットスロット毎に位相が反転され、かつ、チャープが付与されるように強度変調を施し、搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出する変調手段を備えることを特徴とする光送信器。

【請求項9】 CW (Continuous Wave) 光源から出射された搬送波周波数の光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施した後、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行う過程か、または、CW光源から出射された搬送波周波数の光信号にデータビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行った後、前記データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施す過程と、  
クロック変調およびデータ変調が施された後の光信号ス

ペクトル帯域を前記データビットレート周波数の4倍以下に制限する過程とを有することを特徴とする光変調方法。

【請求項10】 搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源から出射されたCW光を2分岐した後、分岐された一方のCW光に、データビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて1ビットスロット毎に位相が反転するように強度変調を施し、また、他方の分岐されたCW光の位相および利得を可変し、2つの該分岐光信号を合波する過程と、クロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行う過程とを有することを特徴とする光変調方法。

【請求項11】 データビットレートの1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて搬送波周波数の光信号を出射するCW (Continuous Wave) 光源から出射されたCW光に、1ビットスロット毎に位相が反転され、かつ、チャープが付与されるように強度変調を施し、搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出する過程と、クロック変調された光信号に、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行う過程とを有することを特徴とする光変調方法。

【請求項12】 所定のデータビットレートにてデータ変調された光信号を送信する光送信器において、送信する光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施すクロック変調手段と、搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出する光デバイスとを備えることを特徴とする光送信器。

【請求項13】 所定のデータビットレートにてデータ変調された光信号を送信する光送信器において、送信する光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施すクロック変調手段と、搬送波と第1番目および第2番目の側帯波のみを抽出する光デバイスとを備えることを特徴とする光送信器。

【請求項14】 CW (Continuous Wave) 光源から出射された搬送波周波数の光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック信号を用いて位相変調を施した後、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行う過程と、クロック変調が施された後に搬送波と第1番目の側帯波のみを抽出する過程とを有することを特徴とする光変調方法。

【請求項15】 CW (Continuous Wave) 光源から出射された搬送波周波数の光信号にデータビットレート周波数の1/2周波数を有する電気クロック

ク信号を用いて位相変調を施した後、前記データビットレート周波数の電気データ信号を用いてデータ変調を行う過程と、

クロック変調が施された後に搬送波と第1番目および第2番目の側帯波のみを抽出する過程とを有することを特徴とする光変調方法。

【請求項16】 搬送波をデータ信号で変調する光変調器において、前記搬送波の信号と、前記搬送波の信号レベルとほぼ等しいレベルの第1番目の側帯波の信号とに対して、前記データ信号で変調を施すことを特徴とする光送信器。

【請求項17】 搬送波をデータ信号で変調する光変調器において、前記搬送波の信号のレベルと、前記搬送波を位相変調した結果生ずる第1番目の側帯波の信号レベルとがほぼ等しくなるように搬送波信号を位相変調し、前記位相変調された信号をデータ信号で変調することを特徴とする光送信器。

【請求項18】 搬送波をデータ信号で変調する光変調装置において、前記搬送波の周波数の信号に前記データ信号のビットレート周波数の略1/2<sup>n</sup> (nは整数)の周波数を有する信号を用いて位相変調を施す位相変調部を有することを特徴とする光送信器。

【請求項19】 前記位相変調部の出力から、前記搬送波周波数付近の周波数の信号のみを抽出するフィルタ部を有することを特徴とする請求項18記載の光送信器。

【請求項20】 前記フィルタ部で抽出された信号を前記データ信号で変調するデータ変調部を有することを特徴とする請求項19記載の光送信器。

【請求項21】 前記フィルタ部は、前期位相変調部の出力から搬送波と第1番目の側帯波を抽出することを特徴とする請求項19または請求項20記載の光送信器。

【請求項22】 前記フィルタ部は、前期位相変調部の出力から搬送波と第1番目の側帯波と第2番目の側帯波とを抽出することを特徴とする請求項19または請求項20記載の光送信器。

【請求項23】 前記フィルタ部は、前期位相変調部の出力から搬送波と第1番目の側帯波と第2番目の側帯波と第3番目の側帯波とを抽出することを特徴とする請求項19または請求項20記載の光送信器。

【請求項24】 搬送波をデータ信号で変調する光送信器に用いられる光クロック変調器であつて、データ信号のビットレート周波数の略1/2<sup>n</sup> (nは整数)の周波数を有する信号を作るクロック信号発生手段と、

前記クロック信号発生手段によって作られた信号で、搬送波を変調する光変調手段と、前記データ信号の周波数の4倍以下の周波数を透過する濾波手段とを有することを特徴とする光クロック変調器。

10

20

30

40

50

【請求項25】 前記光変調手段は、光位相変調器を有することを特徴とする請求項24記載の光クロック変調器。

【請求項26】 前記光変調手段は、位相チャープを付与する強度変調器を有し、前記強度変調器は、前記強度変調器の出力が零となる点をバイアス点として動作することを特徴とする請求項24記載の光クロック変調器。

【請求項27】 前記搬送波を第1の信号と第2の信号とに分岐する分岐器と、

前記クロック信号発生手段によって作られた信号を、事前に決定された値で、位相シフトする位相シフトと、

前記第1の信号を前記クロック信号発生手段によって作られた信号と前記位相シフトの出力信号とで、プッシュプル駆動する強度変調器と、

前記第2の信号の利得を調整する利得調整手段と、

前記第2の信号の位相を調整する位相調整手段と、

前記強度変調器で強度変調された第1の信号と、前記利得調整手段および前記位相調整手段で利得と位相を調整された第2の信号とを多重する多重回路とを有することを特徴とする請求項24記載の光クロック変調器。

【請求項28】 前記クロック信号発生手段の出力信号が、正弦波であることを特徴とする請求項24～請求項27のいずれか記載の光クロック変調器。

【請求項29】 前記濾波手段は、前記搬送波と変調された信号の第1番目の側帯波とを抽出することを特徴とする請求項24から請求項28のいずれか記載の光クロック変調器。

【請求項30】 前記濾波手段は、さらに変調された信号の第2番目の側帯波を抽出することを特徴とする請求項29記載の光クロック変調器。

【請求項31】 前記データ信号による変調より先に、前記光変調手段による変調が行われることを特徴とする請求項24から請求項30のいずれか記載の光クロック変調器。

【請求項32】 前記データ信号による変調より後に、前記光変調手段による変調が行われることを特徴とする請求項24から請求項30のいずれか記載の光クロック変調器。

【請求項33】 前記データ信号による変調より先に、前記濾波手段による処理が行われることを特徴とする請求項24から請求項30のいずれか記載の光クロック変調器。

【請求項34】 前記データ信号による変調より後に、前記濾波手段による処理が行われることを特徴とする請求項24から請求項30のいずれか記載の光クロック変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光変調方式に関し、特に、光ファイバ通信システムにおいて、非線形耐力に

優れた光送信器及び光変調方法に関する。

【従来の技術】 高速光ファイバ通信においては、伝送路である光ファイバの波長分散と非線形効果（特に、自己位相変調および相互位相変調）の相乗効果による波形歪みが伝送速度、伝送距離を制限する要因となる。従って、システム設計を容易にするためにも、非線形耐力に優れた変調方式および伝送方式が不可欠である。

【0002】 非線形耐力に優れた変調方式として、例えば、「NTT 宮本他、1999年11月、エレクトロニクス・レターズ、第35巻、23号、2041頁～2042頁 (Y. Miyamoto et al., "320Gbit/s (8 × 40Gbit/s) WDM transmission over 367km with 120km repeater spacing using carrier-suppressed return-to-zero format", Electronics Letters, vol. 35, no. 23, pp. 2041-2042, 1999)」に示されているように、キャリア抑圧リターン・トゥ・ゼロ (carrier-suppressed return-to-zero) 変調方式 (CSRZ変調方式) が提案されている。

【0003】 図9はCSRZ変調方式の一例を示すブロック図である。図9に示すCSRZ変調方式を実現する構成は、搬送波周波数の光信号を発生する光源1と、光源1で発生された光信号にクロック変調を施すクロック変調部13と、光増幅器2と、光信号にデータ変調を行うデータ変調部10と、光増幅器3とから構成されている。

【0004】 第1の光強度変調器14において、光源1より出射されたCW (Continuous Wave) 光は、データ信号のビットレートの1/2周波数を有する1対の電気クロック信号 (1/2クロック信号) を用いて、プッシュプル (両極駆動) 動作により、クロック変調 (強度変調) される。尚、前記1対の1/2クロック信号間の位相は、位相シフト15により、 $\pi$  (180度) 異なっている。プッシュプル動作を行うことにより、強度変調の際にチャープ (強度変調に伴う、強度に応じた位相シフト) が付与されることなく、1ビットスロット毎に位相が反転するようなクロック変調が可能となる。

【0005】 図10の (a) にクロック変調後 (第1の強度変調器14の出力T11) の光波形 (アイパタン) を示し、(b) に光スペクトルを示す。図9 (および以下の同様の各図) において、アイパタンを示す図は横軸に時間、縦軸に振幅を示すものであり、光スペクトルを示す図は横軸に光源から発する搬送波の周波数を中心とした相対周波数、縦軸に出力レベルを示すものである。CSRZ変調方式におけるクロック変調の特徴は、その名前の由来のとおり、搬送波の出力レベルが抑圧されていることである。図10 (b) において、搬送波 (相対周波数がゼロの地点) の出力レベルがゼロであることからわかるように、光スペクトルにおいて、搬送波が抑圧されていることに着目されたい。

【0006】 次に、クロック変調された光信号は、第1

の光増幅器 2 により、光増幅された後、第 2 の光強度変調器 11 に入射される。第 2 の光強度変調器 11 においては、電気データ信号 (non-return to zero 信号) を用いてデータ変調を行う。変調動作としては、図 9 に示すように、位相シフト 12 を用いて作成された 1 対のデータ信号を用いたプッシュプル動作でもよく、また、1 つのデータ信号を用いたシングルエンド (単極駆動) 動作でもよい。上記過程により生成された光 CS-RZ 信号は、第 2 の光増幅器 3 により光増幅され、伝送路へと出射される。

【0007】図 10 の (c) および (d) に第 2 の強度変調器 11 の出力 T12 における CS-RZ 信号の光波形および光スペクトルを示す。また、通常の RZ 変調信号との違いを明示するために、図 11 (a), (b) に CS-RZ 変調方式の光波形と光スペクトル、図 11 (c), (d) に RZ 変調方式の光波形と光スペクトルを各々示す。

【0008】この CS-RZ 信号は、第 1 の光強度変調器 14 における消光カーブの極小値 (透過特性の最小値) をバイアス点として、1/2 クロック信号により、クロック変調をかけているため、図 11 (b) に示すように、通常の RZ 信号 [図 11 (d)] と比較すると、主ローブが約 75% の周波数帯域しか有していない。このため、波長多重伝送においては、CS-RZ 信号は、RZ 信号に比べて、隣接チャネル間の光スペクトルの重なりが小さく、周波数領域において隣接チャネルの干渉を受けにくく、また、光フィルタ等を用いて、所望のチャネルだけを分波しやすい。

【0009】また、上記の文献によれば、1 チャネル伝送時において、RZ 信号に比べて、CS-RZ 信号は 1.4 dB 高い送信パワーで伝送可能であることが報告されており、光ファイバの波長分散と自己位相変調の相乗効果による波形歪みに対しても、RZ 信号より優れた耐力を示している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記の従来の技術における問題点は、クロック変調をかけるために用いる、1 対の 1/2 クロック信号間の位相調整、振幅調整、バイアス調整が必要であることである。以下では、より詳細に問題点を記述する。

【0011】従来の技術では、チャープレスなクロック変調を施すため、プッシュプル (両極駆動) 強度変調器を用いる必要がある。このため、1 対の 1/2 クロック信号が必要となり、さらに 1/2 クロック信号間の位相差が相互に  $\pi$  (180 度) となる位相調整、振幅が等しくなる振幅調整が不可欠である。また、変調器の消光カーブ (透過特性) の極小値にバイアス電圧を設定する必要があるため、バイアス電圧調整も不可欠である。

【0012】本発明の目的は、CS-RZ 変調方式よりも更に非線形耐力に優れた変調方式を提供することにあ

る。また、本発明の他の目的は、クロック変調をかけるために用いる、1 対の 1/2 クロック信号間の位相調整、振幅調整、バイアス調整を不要とすることにある。さらに、本発明の別の目的は、位相変調器の位相変調指数を適切に選ぶことにより CS-RZ 変調も可能とすることにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の第 1 の光送信器は、CW (Continuous Wave) 光源、クロック変調部、および、データ変調部を有し、クロック変調が施された後にデータ変調が施される光送信器において、1/2 クロック信号を用いて、光源から出射された CW 光に位相変調を施した後、搬送波と第 1 番目の両側帯波のみを抽出するクロック変調部を具備することを特徴とする。

【0014】また、位相変調指数を調整することによって、従来構成よりも簡易な調整で CS-RZ 変調を得ることが可能であることも他の特徴である。

【0015】本発明の第 2 の光送信器は、クロック変調部、および、データ変調部を有し、クロック変調が施された後にデータ変調が施される光送信器において、光源から出射された CW 光を 2 分岐した後、分岐された一方の CW 光に、1/2 クロック信号を用いて 1 ビットスロット毎に位相が反転するように強度変調を施し、また他方の分岐された CW 光の位相および利得を可変し、2 つの該分岐信号を合波するクロック変調部を具備することを特徴とする。

【0016】本発明の第 3 の光送信器は、CW 光、クロック変調部、および、データ変調部を有し、クロック変調が施された後にデータ変調が施される光送信器において、1/2 クロック信号を用いて 1 ビットスロット毎に位相が反転され、かつ、チャープが付与されるように強度変調を施し、搬送波と第 1 番目の両側帯波のみを抽出するクロック変調部を有することを特徴とする。

【0017】本発明では、位相変調後、搬送波および第 1 の両側帯波のみを抽出しているため、従来方式である CS-RZ 変調方式と同程度、または、狭い光スペクトル幅が実現可能である。

【0018】また、本発明では、位相変調指数を可変できるため、隣接符号間の位相チャープ量を可変することができ、伝送路中における隣接符号間の干渉を低減するように最適化できる。また、位相変調指数を適切に選ぶことにより、搬送波を抑圧することができるため、本発明の構成で従来方式である CS-RZ 変調を施すことも可能である。

【0019】また、本発明では、位相変調を施しているため、クロックバイアスを付加する必要がなく、従って、バイアスの調整も不要である。

【0020】さらに、本発明では、1 つの 1/2 クロック信号のみを用いて変調するため、従来方式である CS

10

20

30

40

50

ーRZ変調における1対の1/2電気クロック信号間の位相調整、および、振幅調整が不要となる。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、以下で説明する各図において図9と同一の構成には同一の符号を付けて説明を省略する。

【0022】図1を参照して、本発明による光送信器の第1の実施形態について説明する。図1に示す光送信器において、光源1から出射されたCW(Continuous Wave)光は、光位相変調器24において、データ信号のビットレートの1/2周波数を有する電気クロック信号(1/2電気クロック信号)により位相変調される。1/2クロック信号としては、正弦波が好ましい。これは信号をつくりだすのが容易であるからである。

【0023】位相変調器24において、光の位相を $\pi$ 遷移させるのに要する電圧を $V_{\pi}$ 、1/2クロック信号の電圧振幅を $V_{clk}$ とすると、位相変調指数は $\pi \times V_{clk} / V_{\pi}$ と表現することができ、位相変調指数の範囲としては、 $0.3\pi \sim 0.765\pi$ が好ましい。これはその範囲において、CS-RZより非線形耐力が良好であるからである。

【0024】より詳細には、約 $0.5\pi$ が最適である。このときに、搬送波のレベルと第一側帯波のレベルとが等しくなり、非線形耐力が最も良好となるからである。また、位相変調指数が約 $0.765\pi$ (第1種ベッセル関数における1番目の零点)のとき、搬送波のレベルが抑圧される(理論的には0となる)ため、CS-RZ変調と等価な変調結果が得られる。

【0025】図2(a)、(b)に、1/2クロック信号として20GHzの正弦波を用いて、位相変調指数が $0.5\pi$ で位相変調を施した場合の位相変調器24の光出力T21における光波形(アイバタン)および光スペクトルを示す。位相変調された光は、光フィルタ25により、通過帯域を制限される。通過帯域としては、搬送波および第1番目の両側帯波のみを通過させるようにすることが好ましい。これはデータ変調後の光スペクトルの狭帯域化が可能となり、また、分散耐力も向上するからである。

【0026】また、通過帯域としては、搬送波、第1番目および第2番目の両側帯波のみを通過させるようにしてもよい。これは分散耐力が低減するものの、非線形耐力が向上し、光フィルタによる抽出も容易であるからである。さらに、第3番目以降の両側帯波を通過させるようにしても良い。ただし、受信感度に注目すると、第1番目の両側帯波のみを通過させるようにした場合が、受信感度は最も良く、フィルタの通過帯域を拡張すると、受信感度は、フィルタを介さない状態に収束していく。

【0027】ここで、光フィルタ25により搬送波、第

1番目、第2番目の両側帯波のみを抽出した状態でデータ変調を行った場合と、光フィルタ25を用いずにクロック変調およびデータ変調が施した場合とを比較する。光フィルタ25を通した後にデータ変調を行ったときの光スペクトルの主ローブ占有帯域は、光フィルタ25を用いずにクロック変調およびデータ変調が施された後の光スペクトル帯域をデータビットレート周波数の4倍以下に制限することに相当する。

【0028】図2(c)、(d)に搬送波および第1番目の両側帯波のみを通過させるようにした場合の光フィルタ25の光出力T22における光波形(アイバタン)および光スペクトルを示す。光フィルタにより通過帯域を制限することにより、光電変換後に40GHzクロック信号が生成されていることがわかる。この光フィルタ25通過後の光信号は、第1の光増幅器2により増幅された後、光強度変調器21によりデータ変調される。

【0029】なお、図1に示す構成では光位相変調器24と光フィルタ25とからクロック変調部23が構成されている。また、図1においてデータ変調部20の構成は、従来例であるCS-RZ変調のデータ変調部(図9の10)と同一である。すなわち、データ変調部20の光強度変調器21と位相シフト22は、図9の光強度変調器11と位相シフト12と同一構成である。

【0030】データ変調後の光信号は第2の光増幅器3により増幅された後、伝送路へと送出される。図2

(e)、(f)に光強度変調器21出力T23における光波形(アイバタン)、および、光スペクトルを示す。

【0031】本発明の第1の実施形態においては、光フィルタ25は第1の光増幅器2の前に配置したが、第1の光増幅器2の後ろに配置されてもよく、第1の光増幅器2の段間に配置されていてもよい。

【0032】また、図3に示すように光フィルタ25に代わる光フィルタ26を光強度変調器21と光増幅器3との間に設けることもできる。ただし、その場合、光フィルタ26の通過帯域は、図1の送信器構成における光信号スペクトルの主ローブのみを通過させる程度に調整することが望ましい。

【0033】波長多重伝送の場合には、波長グリッド以下の光フィルタ通過帯域となるように調整することにより、隣接チャネルとのクロストークも抑圧されるという効果も得られる。図3における送信器構成の場合には、クロック変調部23はデータ変調部20の前に配置されたが、その限りではなく、配置が相互に入れ替わってもよい。

【0034】また、データ変調部20において、プッシュプル動作のマッハチェンダ光強度変調器について記述したが、その限りではなく、シングルエンドのマッハチェンダ光強度変調器、または、電界吸収型光変調器を用いてもよい。

【0035】次に、本発明の第1の実施形態における効



果について説明する。本実施形態においては、信号光が伝達するデータの伝送速度を  $40\text{Gb/s}$ 、データ変調信号としては NRZ (Non-return to zero) 信号を用いた。  $1/2$  電気クロック信号としては、  $20\text{GHz}$  の正弦波を用い、位相変調度は  $0.5\pi$  とした。また、光フィルタ 25 は、  $0.4\text{nm}$  の通過帯域を有する理想矩形フィルタを想定した。伝送路は  $80\text{km} \times 5$  中継で、各中継スパンは通常シングルモードファイバ (standard single mode fiber)  $50\text{km}$  と逆分散ファイバ (reverse dispersion fiber)  $30\text{km}$  とから構成されているとした。

【0036】シングルモードファイバの分散値、分散スロープ、損失、コア直径、非線形係数は、それぞれ  $+16\text{ (ps/nm/km)}$ 、  $+0.07\text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 、  $0.2\text{ (dB/km)}$ 、  $10.4\text{ (}\mu\text{m)}$ 、  $2.62 \times 10^{-20}\text{ (m}^2/\text{W)}$  を用いた。また、逆分散ファイバの分散値、分散スロープ、損失、コア直径、非線形係数は、それぞれ  $-26.66\text{ (ps/nm/km)}$ 、  $-0.08\text{ (ps/nm}^2/\text{km)}$ 、  $0.3\text{ (dB/km)}$ 、  $5.64\text{ (}\mu\text{m)}$ 、  $2.6 \times 10^{-20}\text{ (m}^2/\text{W)}$  を用いた。

【0037】図 4 は、送信パワーに対する  $400\text{km}$  伝送後のアイパタンの劣化度を示した図である。  $1\text{dB}$  のアイパタン劣化を許容した場合、従来の CS-RZ 変調方式と比べて、約  $2.5\text{dB}$  高い送信パワーで送信することが可能である。換言すれば、非線形耐力が  $2.5\text{dB}$  改善されることを示している。

【0038】次に、図 5 を用いて本発明の第 2 の実施形態を説明する。本実施形態は、第 1 の実施形態とはクロック変調部 33 のみが異なっている。クロック変調部 33 では、光源 1 から出射された CW 光は、分離回路 36 により 2 分岐される。一方の CW 光は、利得可変器 38 により光パワーを調整された後、位相シフト 39 により位相を遷移させられる。他方の CW 光は、光強度変調器 34 において、位相シフト 35 を用い、  $1/2$  電気クロック信号を用いてプッシュプル動作によりクロック変調を行う。

【0039】上述した光強度変調器 34 における消光カーブの極小値をバイアス点としてクロック変調をかけており、従来例の CS-RZ 変調方式で説明したクロック変調部 (図 9 の 13) と同一である。多重回路 37 により各々の光信号が合波されることにより、CS-RZ 信号のクロック成分に CW 成分が付加されることになる。クロック変調部 33 から出射されたクロック信号は、第 1 の光増幅器 2 において光増幅された後、データ変調部 30 でデータ変調を施される。データ変調後の光信号は第 2 の光増幅器 3 により増幅された後、伝送路へと送出される。なお、データ変調部 30 の構成は、従来例である CS-RZ 変調のデータ変調部 (図 9 の 10) と同一である。すなわち、データ変調部 30 の光強度変調器 3

1 と位相シフト 32 は、図 9 の光強度変調器 11 と位相シフト 12 と同一構成である。

【0040】図 6 に第 2 の実施の形態における各部の出力波形と光スペクトルを示す。図 6 (a)、(b) は光強度変調器 34 の光出力波形 (アイパタン) および光スペクトルを示し、(c)、(d) は多重回路 37 のアイパタンおよび光スペクトルを示し、そして、(e)、(f) は光強度変調器 31 のアイパタンおよび光スペクトルを示している。

【0041】図 5 の構成において、利得可変器 38、位相シフト 39、および、多重回路 37 は、CS-RZ のクロック変調スペクトラル [図 6 (b) に示す光強度変調器 34 の光出力の光スペクトラル] に、図 6 (d) (多重回路 37 の光出力の光スペクトラル) に示すように、搬送波を足しあわせるために用いられている。

【0042】利得可変器 38 は、足しあわされる搬送波の強度を可変するのに使われており、この強度の可変は、第 1 の実施形態における位相変調器 24 の変調指数を可変するのと同等の作用をもつ。従って、利得可変器 38 を用いた、足しあわされる搬送波の強度変化により、隣接符号間の位相チャープ量を可変可能となる。足しあわされる搬送波の強度は、CS-RZ クロック変調スペクトラル成分の第 1 番目の両側帯波 [図 6 (b) の真ん中の 2 つの輝線スペクトル] と同程度のレベルになるように、調整することが望ましい。これは非線形耐力に優れているからである。

【0043】位相シフト 39 は、足しあわされる搬送波と CS-RZ クロック変調スペクトラル成分との位相関係を調整するのに用いられている。位相シフト量としては、足しあわされる搬送波の位相が、CS-RZ クロック変調スペクトラル成分の第 1 番目の両側帯波のうち的一方と同相になるように調整することが望ましい。どちらの成分と同相にするかは、伝送路の分散マップにより異なる。

【0044】本実施形態で生成された信号光は、第 1 の実施形態で生成された信号光とほぼ等価である。このため、第 1 の実施形態と同等の非線形耐力を有する。

【0045】上述した利得可変器 38 は、例えば、光増幅器または光減衰器、または両者の組み合わせで実現可能である。また、位相シフト 39 は、例えば、位相変調器、および、光遅延器により実現可能である。

【0046】多重回路 37 と光増幅器 2 との間、または、光増幅器 2 の段間、または、光増幅器 2 と光強度変調器 31 との間に、狭帯域の光フィルタを挿入してもよい。挿入する光フィルタとしては、搬送波および第 1 番目の両側帯波のみを通過させることが好ましい。これは非線形耐力を劣化させることなく、光送信波形スペクトルの狭帯域化が可能となり、高密度波長多重伝送に適しているからである。また、光強度変調器 34 と多重回路 37 との間に狭帯域の光フィルタを挿入してもよい。こ

の場合、挿入する光フィルタとしては、第 1 番目の両側帯波のみを通過させることが好ましい。

【0047】次に、図 7 を用いて本発明の第 3 の実施形態を説明する。本実施形態は、第 1 の実施形態とはクロック変調部 43 のみが異なっている。クロック変調部 43 では、光源 1 から出射された CW 光は、位相チャープ（強度に応じた位相シフト）を有する光強度変調器 44 において、 $1/2$  電気クロック信号を用いて強度変調される。上述した光強度変調器 44 における消光カーブの極小値をバイアス点として強度変調をかけているが、強度変調器 44 が位相チャープを有しているため、CS-RZ 変調のクロック変調部 13 と異なり、搬送波は抑圧されない。

【0048】強度変調された光は、光フィルタ 45 により、通過帯域を制限される。通過帯域としては、搬送波および第 1 番目の両側帯波のみを通過させるようにすることが好ましい。クロック変調部 43 から出射されたクロック信号は、第 1 の光増幅器 2 において光増幅された後、データ変調部 40 でデータ変調を施される。データ変調後の光信号は第 2 の光増幅器 3 により増幅された後、伝送路へと送出される。

【0049】なお、データ変調部 40 の構成は、従来例である CS-RZ 変調のデータ変調部（図 9 の 10）と同一である。すなわち、データ変調部 40 の光強度変調器 41 及び位相シフト 42 は、図 9 の光強度変調器 11 及び位相シフト 12 と同一構成である。図 8 に第 3 の実施の形態における各部の出力波形と光スペクトルを示す。図 8 (a), (b) は光強度変調器 44 の光出力波形（アイバタン）および光スペクトルを示し、(c), (d) は光フィルタ 45 のアイバタンおよび光スペクトルを示し、そして、(e), (f) は光強度変調器 41 のアイバタンおよび光スペクトルを示している。

【0050】本実施形態で生成された信号光は、第 1 の実施形態で生成された信号光とはほぼ等価である。このため、第 1 の実施形態と同等の非線形耐力を有する。

【0051】以上、実施形態を本発明の光変調方式に関して説明したが、本発明は他の様々な態様により実現可能である。まず、本発明の光変調方式、および、光送信器において、1 チャネル伝送の場合についてのみ記述したが、多チャネル伝送の場合にも有効な方式である。

【0052】また、本発明中の様々な回路、部品に関しては、その機能を満たすものであれば、どのような回路、部品を適用しても可能であることは言うまでもない。さらに、変調器の損失補償のために、光増幅器を用いたが、信号の変調自体には無関係であり、省略することができる。

【0053】さらにまた、上記実施の形態の位相変調部では、データ信号のビットレートの  $1/2$  周波数を有する電気クロック信号（ $1/2$  電気クロック信号）により位相変調を行っているが、データ信号のビットレートの

$1/2^n$ （ $n$  は整数）周波数を有する電気クロック信号によって位相変調を行っても構わない。また、データ変調部での処理を、位相変調部での処理よりも先に行っても構わない。

【0054】

【発明の効果】第 1 の効果は、光送信信号の非線形耐力が著しく向上することである。図 4 に示した数値計算の結果によれば、従来構成と比べて、2、5 dB 高い非線形耐力を有している。その理由は、本発明では、周波数領域における各信号（搬送波、側帯波）のレベルを近づけることができるからである。

【0055】第 2 の効果は、従来方式である CS-RZ 変調方式と同程度、または、より狭い光送信スペクトル幅を実現可能であることである。その理由は、位相変調後、搬送波および第 1 の両側帯波のみを抽出しているためである。

【0056】第 3 の効果は、クロックバイアスの調整が不要であることである。その理由は、位相変調を施しているため、クロックバイアスを付加する必要がないためである。

【0057】第 4 の効果は、 $1/2$  電気クロック信号間の位相調整、および、振幅調整が不要であることである。その理由は、1 つの  $1/2$  電気クロック信号のみを用いて位相変調を施し、クロック信号を生成するためである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態を示す図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態の各構成部における波形および光スペクトルを示す図である。

【図 3】図 1 に示す構成の変形例を示す図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態における効果を示す図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施形態を示す図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態の各構成部における波形および光スペクトルを示す図である。

【図 7】本発明の第 3 の実施形態を示す図である。

【図 8】本発明の第 3 の実施形態の各構成部における波形および光スペクトルを示す図である。

【図 9】従来例を示す図である。

【図 10】従来例の各構成部における波形および光スペクトルを示す図である。

【図 11】CS-RZ 変調方式と RZ 変調方式の波形および光スペクトルを示す図である。

【符号の説明】

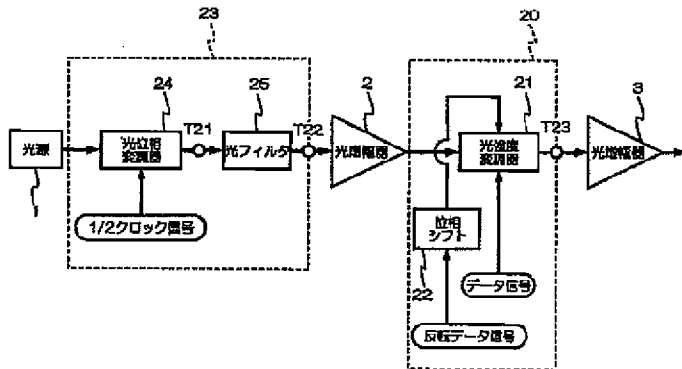
- 1 光源
- 2, 3 光増幅器
- 20, 30, 40 データ変調部
- 21, 31 光強度変調器
- 22, 32, 35, 39, 42 位相シフト
- 23, 33, 43 クロック変調部

24 光位相変調器  
 25, 45 光フィルタ  
 34, 41 光強度変調器  
 36 分離回路

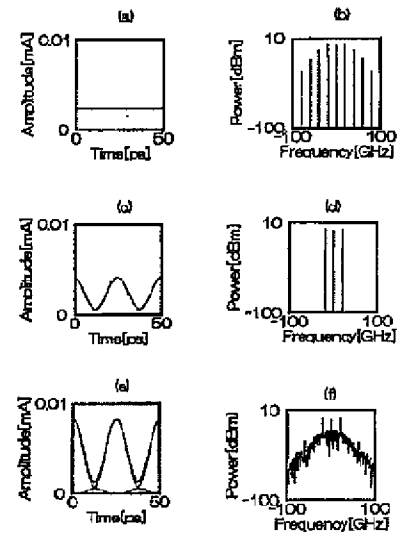
\* 37 多重回路  
 38 利得可変器  
 44 チャープを有する光強度変調器

\*

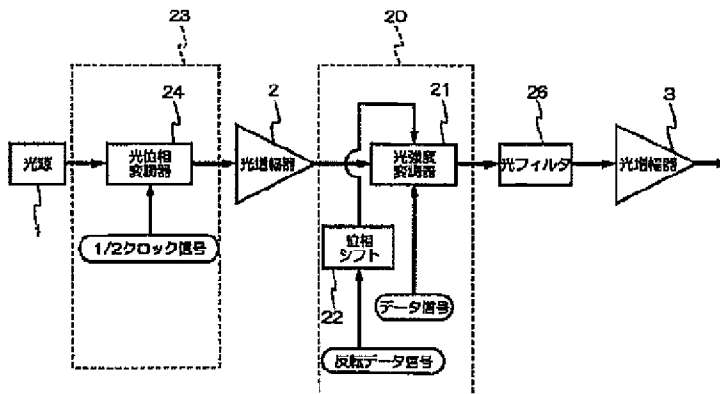
【図 1】



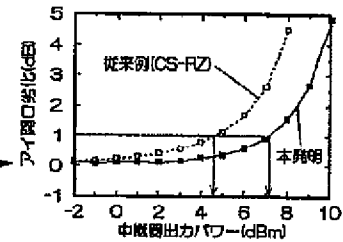
【図 2】



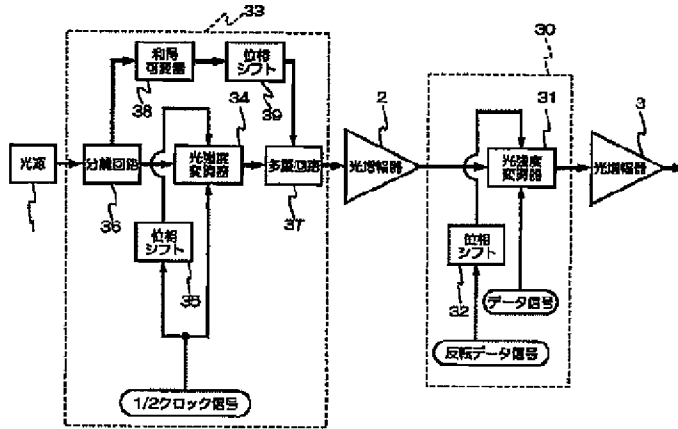
【図 3】



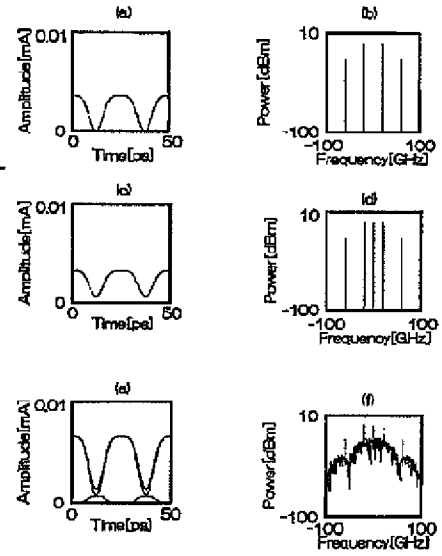
【図 4】



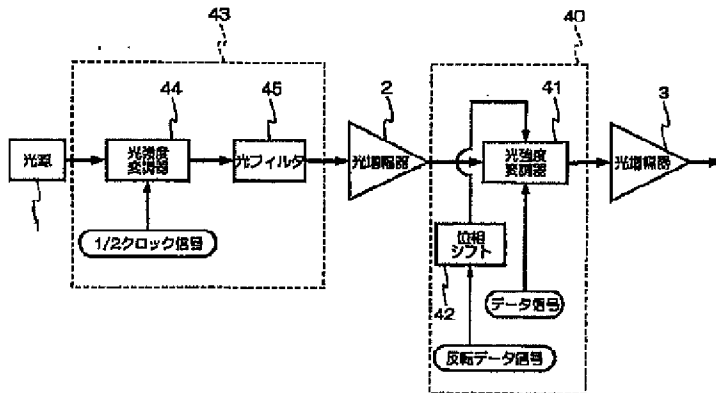
【図5】



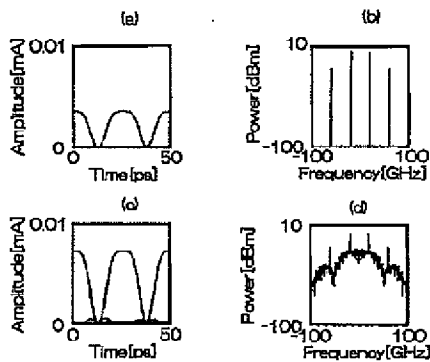
【図6】



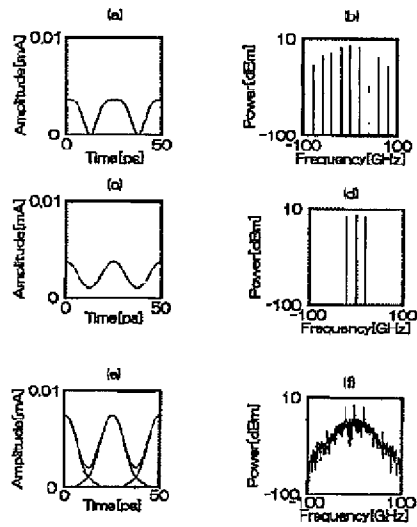
【図7】



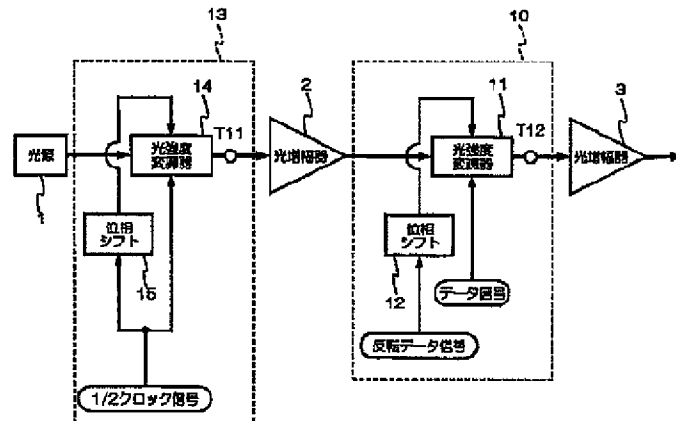
【図10】



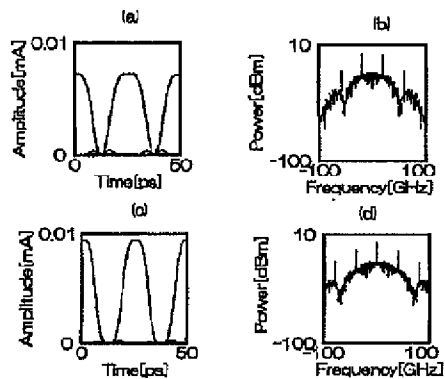
【図 8】



【図 9】



【図 11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 4 B 10/26

10/28